

# 인공 신경 회로망을 이용한 핵물질 거동 감시 시스템 개발

## Integrated Continuous Surveillance and Diagnostics System Using Neural Network

최재형\*(부산대.원), 한명철(부산대), 박영수, 김호동, 홍종숙(한국원자력연구소)

### ABSTRACT

This paper presents a novel technology for unattended continuous monitoring of radioactive material in hot cell environments. In this monitoring system, the surveillance camera data and NDA data are time synchronized and integrated into the same dimension through data processing. The integrated information is then fed into a neural network to generate diagnostics on the nature of material flow. The functionality of the concept is tested for a spent nuclear fuel transportation in an operational hot cell at KAERI. The presented integral part of the multi-sensory system and the analytical paradigm may provide an effective technological alternative for safeguarding new conceptual hot cell facilities, namely the Dupic facility.

**Key Words :** unattended continuous monitoring system(무인 연속 감시 시스템), surveillance camera (감시 카메라), NDA equipment(비파괴 측정장비), neural network(인공 신경 회로망), process diagnostics(공정 진단), nuclear safeguarding(핵물질 보장 조치)

### 1. 서론

최근 국내에서 경·중수로 연계 핵연료 주기 기술(DUPIC)이 핵연료 주기 기술에 대한 새로운 개념으로 제시됨에 따라 개봉된 사용후핵연료 물질을 취급하는 공정에서 핵물질의 감시를 위한 시설이 필요하게 되었다. 차폐시설내에서 핵물질의 이동에 대한 연속 감시를 위해서는 많은 양의 데이터와 거대한 크기의 데이터베이스 구축이 필요하며 데이터를 분석하기 위해 조업 감독자의 많은 노력과 시간이 불가피하다. 따라서 핵물질 출입 구역에서 수송 용기 및 핵물질을 실시간으로 연속 감시할 수 있는 자동화된 보장 조치 체계 개발이 절실하다.

이러한 관점에서 한국 원자력 연구소에서 보장 조치 체계 개발이 시작되었으며, 본 연구에서는 핵물질 이송 중의 시각 감시 정보를 얻기 위한 CCD 카메라와 방사능 정보를 측정하는 NDA 장비를 이용한 연속 감시 시스템을 설계하고자 하였다. 이 시스

템에서는 측정된 데이터의 비정상과 정상을 판별하기 위하여 인공 신경망의 연상 기억 기능을 사용하였으며 이송 중인 핵물질의 이동 경로와 유형을 규명하였다.

### 2. 시스템 개요

핵물질 연속 감시 시스템은 감시 카메라, 방사능 검출기, 인공 신경망을 사용한 진단 시스템으로 구성되어 있다. pan/tilt 장치에 탑재된 CCD 카메라는 용기 이송 경로의 대부분을 감시할 수 있도록 설치되어 있다. 카메라는 PC에 내장된 영상 처리 장치에 접속되어 화상을 실시간으로 전송한다. 영상 처리 장치로는 삼성전자의 MVB03을 사용하였다. 방사능 검출기는 이송 용기에서 방출되는 방사능의 유형과 정도를 측정하기 위하여 핵물질이 드나드는 경로 측면에 설치되어 있다. 실험에 사용된 방사능 검출기는 중성자 측정기 DSNM(DUPIC Safeguards

Neutron Monitor)과 미국 로스알라모스 국립 연구소에서 개발된 Portable Shift Register(model PSR-B with PSR-AUX)를 사용하였다. 검출기는 PC에 의해 원격 조절된다. 이 시스템은 실험을 위하여 그림 1과 같이 한국 원자력 연구소의 IMEF (Irradiated Material Test Facility)에 설치되었다.

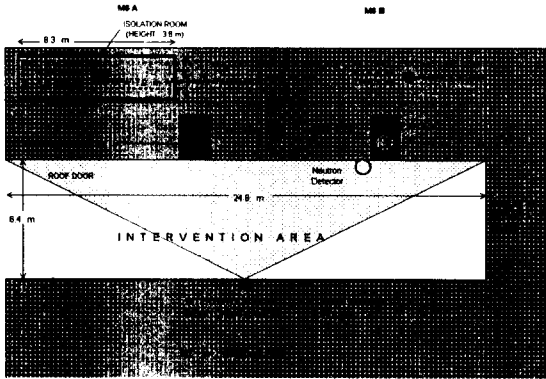


그림 1. 시스템 배치도

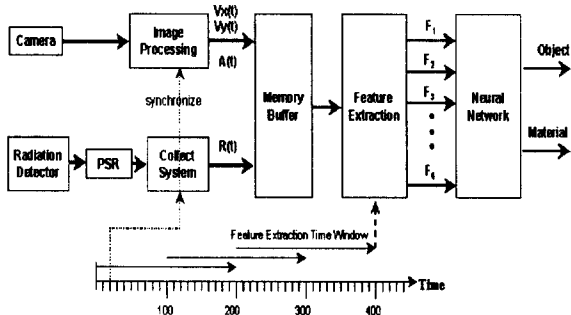


그림 2 통합 감시 시스템 개념도

시스템은 그림 2에서 보듯이 카메라 영상 데이터와 방사능 자료를 10초마다 동기화하여 수집하고, 매 시간 영상 데이터를 영상 처리 과정을 통해 시간에 대한 데이터로 변환시켜 메모리에 일시 저장하도록 구성되어 있다. 이 과정은 100초간의 시간 간격으로 현재의 정보와 이전의 정보를 200초 단위로 저장하는 작업으로 반복되어 인공 신경망의 특징 추출 입력으로 처리된다. 시스템의 진단 결과가 비정상이라고 판별되면 원래의 영상 데이터와 방사능 데이터를 각각의 시간 간격으로 테이프에 기록한다. 그 외 정상적인 경우에는 이전의 데이터들이 메모리에서 삭제되고 새로운 데이터를 수집하는 과정을 반복하여 수행한다. 결과적으로, 제시된 보장 조치 체계는 차폐시설내에서 핵물질 이송 중의 정상과 비정상을 규명하고, 정보의 연속성을 유지하였다. 그러한 판별

작업은 이송 물질의 움직임, 유형, 경로를 결정하는 것으로 세분화되어 있다.

### 3. 감시 데이터의 추출과 처리

#### 3.1 영상 처리

감시 데이터는 카메라와 방사능 검출기로부터 얻어지며, 공간상의 정보를 주는 비디오 영상 데이터와 시간에 따른 방사능 정보를 동시에 처리하기에는 어려움이 많다. 따라서 데이터 통합을 위하여, 영상 감시 데이터는 영상 처리 과정을 거쳐 시간에 따른 데이터로 변환된다.

각각의 샘플링 시간마다 시스템 동작 초기에 한번만 수행되는 (1)단계를 제외한 다음의 영상 처리 과정이 반복 수행된다.

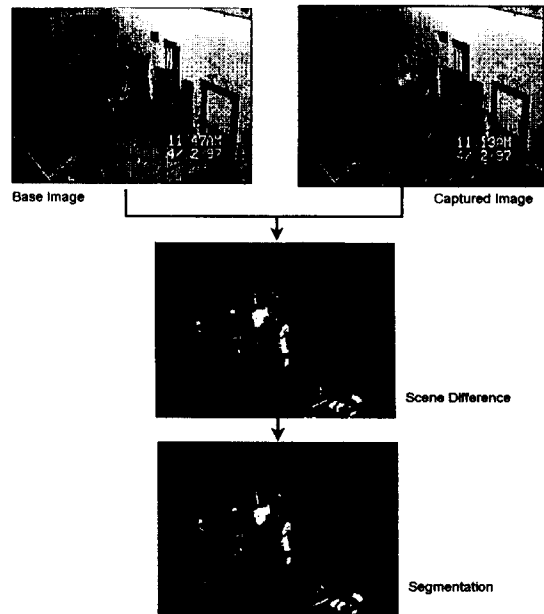


그림 3. 영상 처리

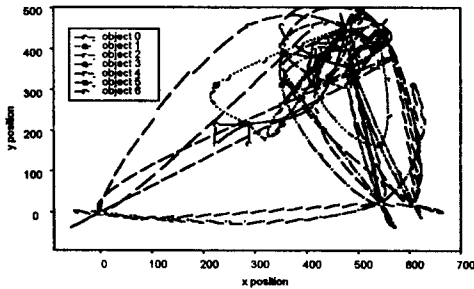
- (1) 배경 영상 저장 : 감시 공간 내에서 아무것도 없을 때의 배경 영상 프레임이 그레이 레벨 데이터로 작업 초기에 저장된다.
- (2) 영상 변화 인식 : 각각의 샘플링 시간마다 새로운 영상 프레임과 배경 영상 프레임과의 차이를 XOR 연산 원리를 사용하여 비교하는 일련의 영상 처리 작업이 수행되고 그 결과 그림 3과 같은 이치화 영상의 흰 부분이 감시 공간내 출입하는 모든 물체를 나타내게 된다.
- (3) 영상 분할 : (2)단계의 결과로 얻어진 물체의 영

상은 상당한 노이즈를 가지고 있으므로, 영상내 물체의 연속성을 분석하기 위한 영상 분할 과정이 필요하다. 영상 프레임의 전체 영역을 일정한 크기의 여러 개의 분할 영역으로 나누어 각 영역 내의 흰화소의 수가 threshold값보다 클 경우 물체로 인식하도록 하였으며, 이 과정은 분할 영역을 변화시켜가며 반복 수행하게 된다.

(4) 기하학적 분석 : 예를 들어 이송 용기와 사람 그리고 정상적인 이송 작업과 비정상적인 움직임 같은 물체의 유형과 움직임을 구분하기 위하여 분할된 물체에서 물체의 기하학적 특성을 규명하는 작업을 수행한다.

그림 4는 영상 처리 결과를 보여준다.

### 1. Object Path



### 2. Object Size

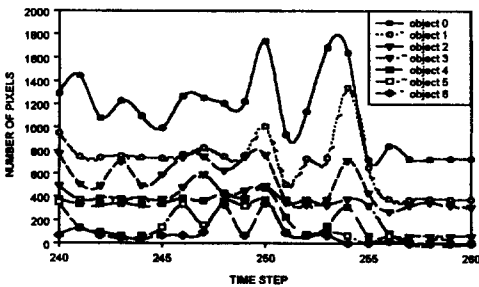


그림 4 영상 처리 결과

이상의 영상처리 작업을 거쳐, 공간상의 정보를 주는 영상 데이터가 시간에 따른 데이터로 변환되어 영상 데이터와 방사능 데이터의 통합이 가능하고 데이터의 양을 줄일 수 있는 장점이 있다. 영상 처리 작업의 모든 과정은 500msec/frame의 속도 내로 DSP 처리기를 이용하여 수행된다. 이렇게 얻어진 일정한 주기에 따른 감시 정보는 작업 중의 물체의 움직임을 규명하기에 충분한 정보를 제공한다.

## 3.2 NDA 데이터 추출

영상 데이터 이외에 물체 이송 정보를 얻기 위해

방사능 검출기(DSNM)로 방사능 데이터를 측정하였다. 검출기에서 얻어진 전기 신호는 PSR에서 single 및 coincidence 중성자 신호로 구별된다. 이들 데이터는 PC에 연결된 NCCWIN 프로그램에 의해 분석되어 중성자 방사량이 매 10초당 기록된다.

## 4. 인공 신경 회로망 학습 과정

시간에 따라 증가화된 감시 데이터를 이용하여 감시 시스템을 구현하기 위하여 인공 신경 회로망을 이용한 진단 시스템을 구성하였다. 특히, 이 시스템은 감시 데이터의 각 구간의 특성을 나타내는 특성 데이터를 입력으로 사용하여 출력으로 물체 이송 경로와 유형을 규명한다. 이러한 목적으로, 예리 역전과 학습 이론을 가진 다층 신경망을 사용하였다.

### 4.1 특성 데이터 추출

전문가 시스템으로 신경망을 학습시키기 위해서는 학습 데이터가 필요하다. 따라서, 한국 원자력 연구소 IMEF에서 일련의 사용후 핵연료 이송 실험이 이루어졌다. 본 연구에서는 실험 기록으로부터 100초간의 데이터 중 10개의 불연속 시간 영역의 데이터를 선택하였고 그 10개의 방사능 데이터와 영상 데이터로부터 학습 데이터로 96개의 조합 정보를 추출하였다. 그림 5는 이송 실험 중의 방사능 데이터와 영상 데이터를 나타낸다.

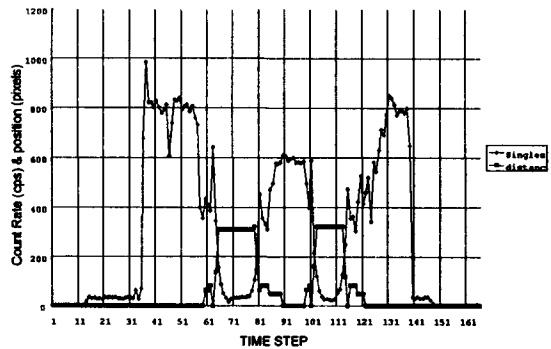


그림 5 통합된 영상 데이터와 방사능 데이터

시간에 따라 얻어진 영상 정보와 방사능 정보는 그 양이 방대하여 인공 신경 회로망의 입력으로 적절하지 못하다. 따라서, 얻어진 데이터들을 신경망에서 사용하기 위하여 일정한 샘플링 기간동안 시간에 따른 데이터를 수집하여 데이터를 처리하는 작업을 수행하였다. 특성 데이터는 구간 특성을 가장 잘 나타내도록 추출하였으며, 다음의 특성 정보를 가진다.

- $I_x$  : DSNM으로부터의 평균 거리
- $S_x$  : 이송용기 이동 데이터의 선형 회귀 직선 기울기
- $D_x$  : 이송용기 이동 데이터 기울기의 Jerk moment
- $I_r$  : 방사능 데이터의 평균값
- $S_r$  : 방사능 데이터 선형 회귀 직선의 기울기
- $D_r$  : 방사능 데이터 기울기의 Jerk moment

## 4.2 인공 신경 회로망 학습

신경망의 구조는 6개의 입력 노드와 핵물질 이동 정보와 이송 용기의 움직임을 나타내는 2개의 출력 노드를 가지고 있다. 각각 12개와 10개의 은닉노드를 가진 히든 레이어 2개로 구성되었으며, 은닉노드의 수는 trial and error 기법으로 선택되었다. 이렇게 구성된 다층 신경망은 전문가 시스템 방식으로 학습되었으며 Batch mode로 수행되었다. 보다 효과적인 학습을 위하여 momentum과 가변 학습률을 도입하고, 가중치들의 초기화는 Neuyen-Widraw 방법을 사용하였으며 그림 6과 같이 모든 학습 데이터의 에러 제곱의 합이 0.02가 될 때까지 수행하였다.

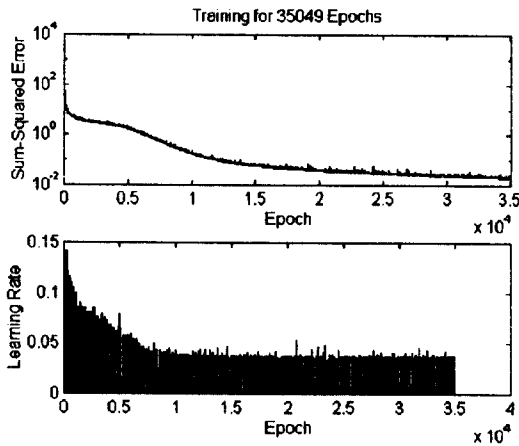
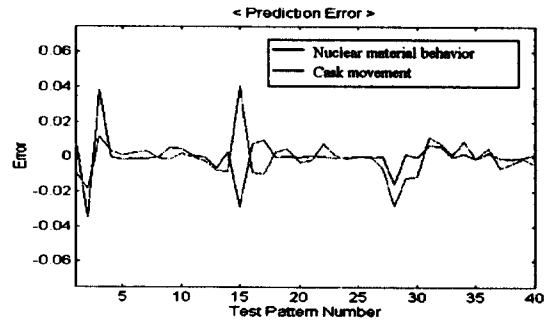


그림 6 인공 신경망 학습 결과

## 5. 시스템 성능 평가

학습된 신경망의 성능은 준비된 시험용 데이터를 사용하여 평가되었다. 전부 40개의 시험용 데이터가 이송 작업 과정 중에서 선택되었으며, 시험용 데이터에서 특성 데이터를 추출하여 신경망에 입력하였다. 결과로서, 그림 7에서 보듯이 핵물질 이동 감시

를 위한 진단 시스템은 작업 진단 에러가 아주 작으며 비교적 정확하게 핵물질 거동을 진단하였다.



	Nuclear material behavior	Cask movement
Std . deviation	0.0104	0.0102
Max . error	0.0746	0.0404

그림 7 인공 신경망 성능 평가

## 6. 결론

핵물질 보장 조치 체계로서의 감시 시스템이 영상 데이터와 방사능 데이터를 통합함으로써 실현되었다. 영상 감시 데이터와 시간에 따른 방사능 데이터를 유용한 특성을 추출하기 위해 통합하고, 차폐공간내에서 물질의 유형과 이송 경로를 규명하기 위해 인공신경망을 이용한 진단 시스템을 구성하였다. 일련의 사용후 핵연료 이송 실험이 한국 원자력 연구소에서 수행되었으며, 실험 결과로서 인공 신경 회로망이 차폐공간내에서의 물질의 이송상태를 신뢰할 만한 수준에서 진단할 수 있다는 것을 증명하였다. 개발된 시스템은 핵물질 거동을 자동으로 연속 감시하는데 적합하며, 앞으로의 연구를 통해 시스템은 국내 DUPIC 시설의 보장조치 체계의 일부로서 사용될 것이다.

## 참고문헌

1. J.A. Howell, H.O. Menlove, C.A. Rodriguez, D. Beddingfield and A. Vasil, "Analysis of Intergrated Video and Radiation Data," INMM 36th annual Meeting Proceedings (1995)
2. G.E. Bosler, et. al., "Integrated Safeguards System, IAEA Symposium on International Safeguards," Vienna, Austria, March 14-18 (1994)